

補助事業番号 2018M-158

補助事業名 平成30年度 オーステナイト系ステンレス鋼の水素脆化過程の電磁センシングによる可視化に関する研究開発 補助事業

補助事業者名 東北大学 内一哲哉

1 研究の概要

水素化社会に向けて、高圧水素機器の安全性と経済性を高めることが求められている。本事業では、高圧水素機器用オーステナイト系ステンレス鋼の水素脆化過程について電磁センサを用いて可視化する新しいシステムを開発する。このシステムを用い水素脆性試験のその場観察を行い、水素脆化メカニズムをオーステナイト相の安定性の観点から明らかにする。さらに、得られた知見に基づき、高圧水素環境において安全に使用可能な安価な鋼材を選定するためのデータを提供する。

2 研究の目的と背景

オーステナイト系ステンレス鋼の水素環境中材料試験において、渦電流アレイセンサを適用して試験片中におけるマルテンサイト変態を定量的にその場観察する手法を確立する。このために、渦電流センサをアレイ状に配置したセンサにより、マルテンサイト変態に伴う透磁率変化からマルテンサイト相の分布を可視化するシステムを構築する。低ひずみ速度引張試験と疲労試験において、開発したシステムを適用し、損傷過程とマルテンサイト変態との関係から、マルテンサイト相と亀裂進展、応力集中などとの関係を明らかにする。

3 研究内容

(1) 電磁センサによる水素脆化過程におけるマルテンサイト変態可視化システム構築

(<http://www.ifs.tohoku.ac.jp/mse/research/jka.html>)

マルテンサイト変態に伴う透磁率の変化を0.2 mm程度の分解能で評価することが可能な可視化システムの設計を、数値電磁場解析を用いて行った。設計に基づき、渦電流アレイセンサ、1次元スキャナ、切り替え器、渦電流試験装置から構成される可視化システムを構築した。また、信号

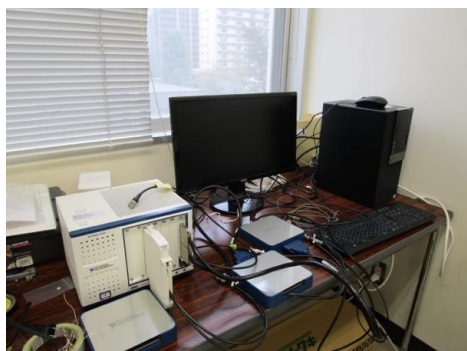


図1 マルテンサイト変態可視化システム

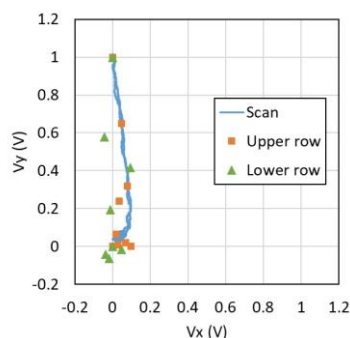


図2 システム検証結果

処理部として、電磁場解析により測定信号から透磁率を推定するソフトウェアを構築した(図1)。システムの検証は、オーステナイト系ステンレス鋼の低ひずみ速度試験の途中止め試験片、および疲労亀裂を模擬した放電加工スリットに対する測定により実施した。図2に示すように、マルテンサイト変態可視化システムは従来の次元走査試験と同様の結果を、走査することなく得ることが出来ている。

(2)オーステナイト系ステンレス鋼の疲労試験におけるマルテンサイト変態の可視化

(<http://www.ifs.tohoku.ac.jp/mse/research/jka.html>)

水素チャージしたオーステナイト系ステンレス鋼の疲労試験を行い、事業項目(1)で開発した可視化システムを用いて疲労試験時のステンレス鋼中のマルテンサイト変態について、種々の条件で作製した試験片に対して可視化実験を試みた。試験片については、水素チャージの有無、疲労亀裂と模擬亀裂などの条件を系統的に変えて準備した。試験後に亀裂の電子顕微鏡観察、EBSDによる相分析などを実施し、マルテンサイト変態の可視化結果と損傷過程、水素脆化メカニズムとの関係を明らかにした。具体的には、マルテンサイト変態の進行、亀裂の発生と進展等のそれぞれの過程に着目し、議論を行った。図3に未チャージ、水素チャージ試験片の疲労亀裂の可視化実験結果を示す。亀裂の存在する $x = 0$ mm の右側に強い信号が現れ、マルチアレイコイルを用いることで、プローブを走査することなく亀裂の存在を検出できることが示された。また、水素チャージの有無で振幅が大きく変化しており、水素チャージによる信号振幅の変化をとらえることができたと言える。

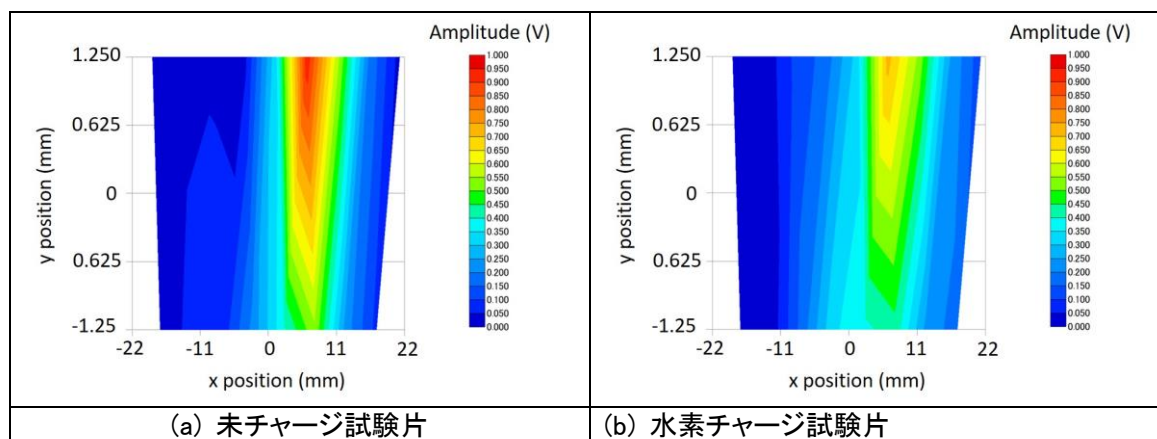


図3 可視化実験結果

4 本研究が実社会にどう活かされるか一展望

マルチアレイコイルを用いた可視化システムによりオーステナイト系ステンレス鋼の水素脆化メカニズムを理解することで、合理的に水素適合性を判断するためのデータを得ることができる。これにより、高圧水素機器用オーステナイト系ステンレス鋼の鋼種について安全性を担保しつつ拡大することができる。即ち、高圧水素容器の経済性と安全性の両面について向上させることが可能となる。更に、本事業で開発したマルチアレイコイルによる可視化システムは、水素脆化に関連

する劣化度を評価するためのモニタリングツールとしても適用可能であり、水素ステーションの機器の監視を行うことができると期待される。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

次世代輸送システム、およびエネルギーシステムの高信頼化に関わるセンサと評価・予測技術の研究、ならびに構造物健全性監視への知的センシングの応用に関する研究を行っている。具体的には、(1)実験、および数値シミュレーションを用いた先進的非破壊評価法に関する研究、(2)オンラインモニタリングによる構造材料の劣化損傷の推定、(3)多様なセンサの融合による高精度センシング、(4)高温環境におけるセンサの開発について、研究開発を行っている。今回の研究は、これらのうち主に(1)(2)の研究から得られた非破壊的な透磁率の推定方法に関する知見を基盤とし、透磁率をその場観測することでマルテンサイト変態を可視化する新しい手法の開発に取り組んだ。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

論文発表

- 1) 山本宏樹, 内一哲哉, 高木敏行, 安 白, 飯島高志, 渦電流試験による水素添加オーステナイト系ステンレス鋼の相変化評価, 第30回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, pp. 198-199 (平成30年5月23日-25日).
- 2) Hiroki YAMAMOTO, Tetsuya UCHIMOTO, Toshiyuki TAKAGI, Bai AN and Takashi IIJIMA, EVALUATION OF PHASE TRANSITION OF HYDROGEN CHARGED AUSTENITIC STAINLESS STEELS USING EDDY CURRENT TESTING, The 23rd International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation (ENDE2018), September 9-13, 2018, Detroit, USA
- 3) Hiroki YAMAMOTO, Tetsuya UCHIMOTO, Toshiyuki TAKAGI, Hiroto ENOKI and Takashi IIJIMA, Characterization of Phase Transition of Hydrogen Charged Austenitic Stainless Steels under Tensile Test Condition Using Eddy Current Testing, The 15th International Conference on Flow Dynamics (ICFD2018), November 7 - 9, 2018, Sendai, Japan
- 4) 山本宏樹, 内一哲哉, 高木敏行, 榎浩利, 飯島高志, オーステナイト系ステンレス鋼の水素脆化に対する渦電流試験法による相変態評価からの考察, 日本機械学会東北支部第54期総会・講演会 (平成30年3月12日)
- 5) 徳田衣莉, 内一哲哉, 高木敏行, 榎浩利, 飯島高志, 水素曝露したオーステナイト系ステンレス鋼の疲労亀裂進展に伴うマルテンサイト相の電磁非破壊評価, 日本非破壊検査協会 第22回表面探傷シンポジウム(平成30年3月18日)
- 6) 徳田衣莉, 内一哲哉, 高木敏行, 榎浩利, 飯島高志, 水素チャージしたオーステナイト系ステンレス鋼における疲労亀裂周りのマルテンサイト変態の電磁非破壊評価, 日本高圧力技術協会2019年度春季講演会 (令和元年5月24日).
- 7) 徳田衣莉, 内一哲哉, 高木敏行, 榎浩利, 飯島高志, 水素曝露したオーステナイト系ステンレ

ス鋼疲労試験片の渦電流試験による水素脆性評価、2019年度 非破壊検査総合シンポジウム (令和元年6月6日-7日).

- 8) 武田 翔、内一 哲哉、高木 敏行、山本 宏樹、榎 浩利、飯島 高志、渦電流試験によるオーステナイト系ステンレス鋼の水素脆化における相変態評価、日本保全学会 第16回学術講演会 (令和元年7月24日-26日).
- 9) Sho TAKEDA, Tetsuya UCHIMOTO, Toshiyuki TAKAGI, Hiroki YAMAMOTO, Hiroto ENOKI, and Takashi IJIMA、EDDY CURRENT TESTING AS AN EVALUATION METHOD OF THE PHASE TRANSITION OF AUSTENITIC STAINLESS STEELS BY HYDROGEN CHARGING、The 24th International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation (ENDE2019), September 11-14, 2019, Sichuan, China
- 10) Eri Tokuda, Sho Takeda, Tetsuya Uchimoto, Toshiyuki Takagi, Hiroto Enoki, Takashi Iijima、Evaluation of the Hydrogen Embrittlement on the Hydrogen Exposed Austenitic Stainless Steel Fatigue Specimens by Eddy Current Testing、The 19th International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (ISEM 2019), 15-18 September 2019, Nanjing, China.
- 11) 武田 翔, 徳田 衣莉, 内一 哲哉, 高木 敏行, 山本 宏樹, 飯島 高志, 榎 浩利、オーステナイト系ステンレス鋼の水素脆性試験における渦電流試験による相変態評価、日本機械学会 M&M2019 材料力学カンファレンス (令和元年11月2日-4日)
- 12) Eri Tokuda, Sho Takeda, Tetsuya Uchimoto, Toshiyuki Takagi, Hiroto Enoki, Takashi Iijima、Hydrogen Embrittlement Evaluation Using Eddy Current Testing on Fatigued Specimens of Hydrogen Charged Austenitic Stainless Steel、Sixteenth International Conference on Flow Dynamics (ICFD2019)、November 6 - 8, 2019, Sendai, Japan
- 13) 徳田衣莉, 武田翔, 内一哲哉, 高木敏行, 榎浩利, 飯島高志、電磁非破壊評価による水素曝露したオーステナイト系ステンレス鋼の疲労き裂 進展過程の検討、日本機械学会東北支部 第55期総会・講演会、(令和2年3月13日)

受賞

- 1) 徳田衣莉、内一哲哉、高木敏行、榎浩利、飯島高志、平成30年度 表面3部門 若手研究 優秀賞、水素曝露したオーステナイト系ステンレス鋼疲労試験片の渦電流試験による水素脆性評価、日本非破壊検査協会 2019年度非破壊検査総合シンポジウム、東京(令和元年6月6日)
- 2) 徳田衣莉、公益社団法人自動車技術会 大学院研究奨励賞、電磁非破壊評価による水素曝露したオーステナイト系ステンレス鋼の疲労破壊メカニズムの検討 (令和2年3月5日).

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

特になし

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

特になし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 東北大学 流体科学研究所 流動システム評価研究分野
(トウホクダイガク リュウタイカガクケンキュウジョ リュウドウシステムヒョウカ
ケンキュウブンヤ)

住 所: 〒980-8577

宮城県仙台市青葉区片平2-1-1

担 当 者: 教授 内一哲哉 (ウチモトテツヤ)

担 当 部 署: 同上

E - m a i l: uchimoto@tohoku.ac.jp

U R L: <http://www.ifs.tohoku.ac.jp/mse1/>